

海洋環境下に長期暴露した FRP-PC 部材の曲げ耐荷挙動

京都大学 学生会員 ○駒井 健人 正会員 Bruno Ribeiro 正会員 平野 裕一
(株)日本ピーエス 非会員 天谷 公彦 東洋建設(株) 正会員 末岡 英二
京都大学 正会員 山本 貴士 正会員 服部 篤史 正会員 塩谷 智基 フェロー 宮川 豊章

1. 目的

FRP 補強材は、通常の鋼材で懸念される電気化学的な腐食を生じないという利点を持っており、海洋環境に位置するコンクリート構造物のような鋼材の腐食が懸念される環境において有用である。しかし、FRP 補強材を用いたコンクリート構造物が実際に海洋環境で長期間使用された例はまだ少なく、コンクリート中のアルカリや乾湿繰返し等の影響についてデータが十分に蓄積されていないのが現状である^[1]。そこで本研究では、FRP 補強材のうち FRP 棒材を緊張材に用いたプレテンション PC 部材について、28 年間海洋沿岸の飛沫帯に暴露した供試体および室内に保管した供試体の曲げ載荷試験を行い、曲げ耐荷挙動の変化を検討した。

2. 供試体概要

コンクリートの配合を表 1 に示す。配合は、プレテンション PC 部材を想定し W/C=35.7%とした。使用した緊張材の物性値を表 2 に示す。緊張材は、炭素より線 (CS)、アラミド

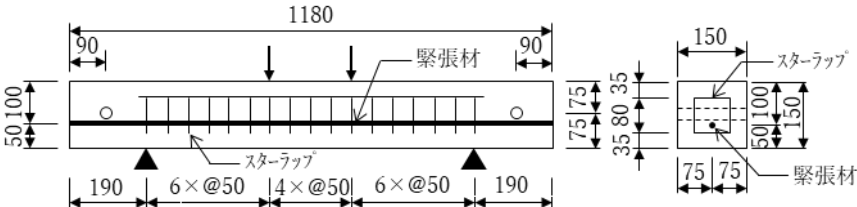


図 1 供試体の寸法・形状(単位: mm)

組紐 (AB)、アラミド異形 (AD) の 3 種類に比較用の異形 PC 鋼棒 (SD) を加えた 4 種類とした。供試体の寸法および形状を図 1 に、測定緊張力および破壊形式を表 3 に示す。本実験で用いた PC はり供試体はいずれも、ひび割れ発生荷重が 31~32 kN、緊張材の降伏または破断で破壊するように設計した。

海洋暴露供試体は、太平洋沿岸の飛沫帯に設置し 28 年間の暴露を行った。室内保管供試体は、温度や湿度等の管理を行わず、雨風を受けない室内に 28 年間保管した。

3. 実験方法

本研究の曲げ載荷試験は、スパン 800mm(全長 1180mm)に対し曲げスパン 200mm の 4 点載荷とした。載荷方法

表 1 コンクリート配合および特性値

G _{max} (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				高性能AE 減水剤(cc)	圧縮強度(N/mm ²)	
					W	C	S	G		導入時	f' ₂₈
20	8	2	35.7	37	157	440	644	1140	3.96	36.6	52.8

表 2 緊張材の物性値

記号	使用長繊維	マトリックス	公称 直径	公称 断面積	引張 荷重(kN)	弾性係数 (N/mm ²)	弾性 伸び(%)
SD	—	—	7.0	38.5	58.5	1.96 × 10 ⁵	0.675
CS	炭素	エポキシ樹脂	7.6	45.3	57.0	1.38 × 10 ⁵	1.30
AB	アラミド	エポキシ樹脂	7.3	42.0	62.6	6.86 × 10 ⁴	2.00
AD	アラミド	ビニルエステル樹	6.0	28.3	49.9	5.30 × 10 ⁴	3.70

表 3 測定緊張力および破壊形式

記号	設計ひび割れ 発生荷重(kN)	設計最大 荷重(kN)	設計初 緊張力(kN)	測定緊張力 (kN)			リラクセー ション(%)	導入プレストレス (N/mm ²)	破壊形式
				初緊張	打設時	導入時			
SD	32.2	35.1	40.6	41.1	41.1	39.8	3.09	2.36	鋼材降伏
CS	31.2	44.1	35.0	35.2	35.0	33.9	3.61	2.01	棒材破断
AB	32.2	40.7	39.9	41.2	37.7	37.0	10.2	2.19	棒材破断
AD	31.9	39.4	38.0	38.1	35.4	35.1	7.97	2.08	棒材破断

キーワード FRP、海洋暴露、曲げ耐荷挙動、プレテンション PC

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京大桂 C1 棟 455 TEL 075-383-3173

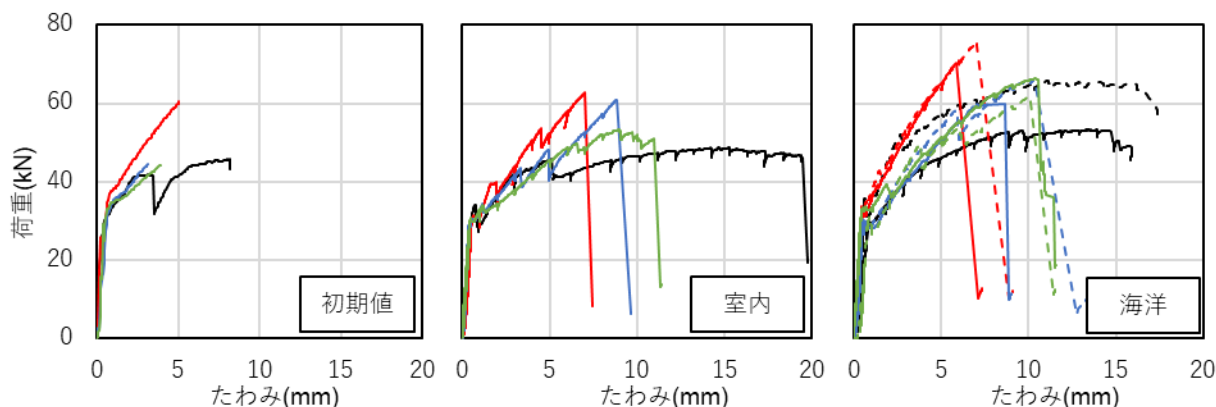


図2 荷重－たわみ関係(黒:SD, 赤:CS, 青:AB, 緑:AD)

は静的载荷とし、ひび割れ発生荷重までは10kNおきに载荷、除荷を繰り返す漸増载荷とし、ひび割れ発生以降はたわみ1mm毎にひび割れ発生状況を観察しながら、鋼材降伏または棒材破断まで単調载荷を行った。測定項目は、荷重、スパン中央たわみ、ひび割れ性状、コンクリートのひずみとした。また、リバウンドハンマーによりコンクリートの反発度を測定した。

4. 実験結果および考察

荷重－たわみ関係を図2に示す。本研究では28年間の暴露においてSDの腐食はみられなかった。

ひび割れ発生荷重は、海洋暴露を実施したいずれの供試体においても、初期値と同程度となった。28年間の海洋暴露でひび割れ発生荷重の低下に至るほどのプレストレスの低下は無かったものと考えられる。一方、室内管理供試体は、特にSD、CS供試体で、初期値および海洋暴露を下回っていることが確認された。水分が供給されない室内環境であったことから、乾燥収縮の影響により有効プレストレスが低下した可能性がある。以上より、FRP棒材を用いたプレテンション部材において、28年までの期間では、特に海洋暴露環境下にあってもひび割れ発生荷重に影響するようなプレストレスの減少は生じないと言える。

最大荷重は、いずれの緊張材を用いた供試体においても、初期、室内暴露、および海洋暴露の全てで設計値を上回り、初期≦室内暴露≦海洋暴露となった。海洋暴露供試体の最大曲げ荷重の増加については、暴露によって、コンクリート強度が増加したことが一因と考えられる。日本建築学会のコンクリート強度推定式 $f_c' = (8.2R + 269Vp - 1094) \times 0.098$ (f_c' :推定圧縮強度[N/mm²], R :反発度, Vp :超音波伝播速度[km/s])を用いて推定した圧縮強度の平均値は、室内では54.8N/mm²、海洋では57.9N/mm²であり、初期値から3.9%、9.9%増加した。さらに、別途実施した片引試験でFRP棒材とコンクリート間の付着力の増加が確認され、最大曲げ荷重の増加に寄与したと考えられる。

5. まとめ

- (1) ひび割れ発生荷重は、暴露後28年経過した供試体は初期の供試体からの目立った低下はみられず、このことからプレストレスの大きな減少は起きていないと考えられる。
- (2) 最大荷重は、海洋暴露後の供試体が初期のものを大きく上回ることが確認された。これはコンクリート強度の影響が一因として考えられる。
- (3) FRP棒材を緊張材に用いたPCはり供試体は、28年の海洋環境下で曲げ耐荷挙動に問題ないことが確認された。

謝辞

本実験の遂行にあたり、連続繊維補強材WGおよび京都大学インフラ先端技術コンソーシアムC05クラスタの関係者各位の多大なるご協力を頂いた。ここに記して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] プレストレスコンクリート工学会：「繊維強化ポリマー(FRP)のコンクリート構造物への適用に関する設計・施工指針」2020.9